

Consecuencias hidrológicas de los incendios forestales

Raúl López Alonso

Profesor de Ingeniería Hidráulica

Dpto. de Ingeniería Agroforestal.

Universidad de Lleida

En el presente artículo se pretende exponer los efectos más significativos que tienen los incendios forestales sobre los diferentes procesos hidrológicos, incidiendo especialmente en los relacionados con la generación de avenidas. Asimismo, se recomiendan algunas directrices para la utilización en cuencas quemadas de los modelos hidrológicos de mayor difusión.

El estudio de las consecuencias hidrológicas de los incendios forestales suele abordarse determinando las modificaciones que se producen en los procesos de interceptación, evaporación, transpiración, infiltración y escorrentía que tienen lugar en el área afectada. Asimismo, los efectos hidrológicos pueden ser considerados a diferentes escalas espaciales (vertiente o cuenca) o temporales (anual, estacional, mensual o eventos aislados). De la combinación de los procesos hidrológicos con las diferentes escalas espaciales y temporales resultan múltiples situaciones a estudiar. Así, por ejemplo, en el ámbito de la escorrentía podemos interesarnos por el efecto en el volumen de escorrentía anual o de una tormenta, y a su vez, en los efectos en parcela, vertiente o cuenca completa.

Al margen de la complejidad metodológica del estudio de las consecuencias hidrológicas, dichas consecuencias pueden variar su magnitud en función de una serie de factores y de la multiplicidad de combinaciones entre ellos, dando lugar a una amplia gama de resultados experimentales de difícil comparación. Entre estos factores por su re-

levancia explicativa destacan:

a) Características del incendio.

Estrato vegetal afectado en función del tipo de incendio: de copa, superficial o subterráneo. Intensidad y temperatura alcanzada. Quema prescrita o incendio incontrolado.

b) Suelo. Naturaleza del suelo (tipo, textura, estructura). Estado del suelo en el momento del incendio, en lo referente al grado de humedad. Presencia de capas de piedras y gravas en superficie, que tienen un papel de aislante térmico.

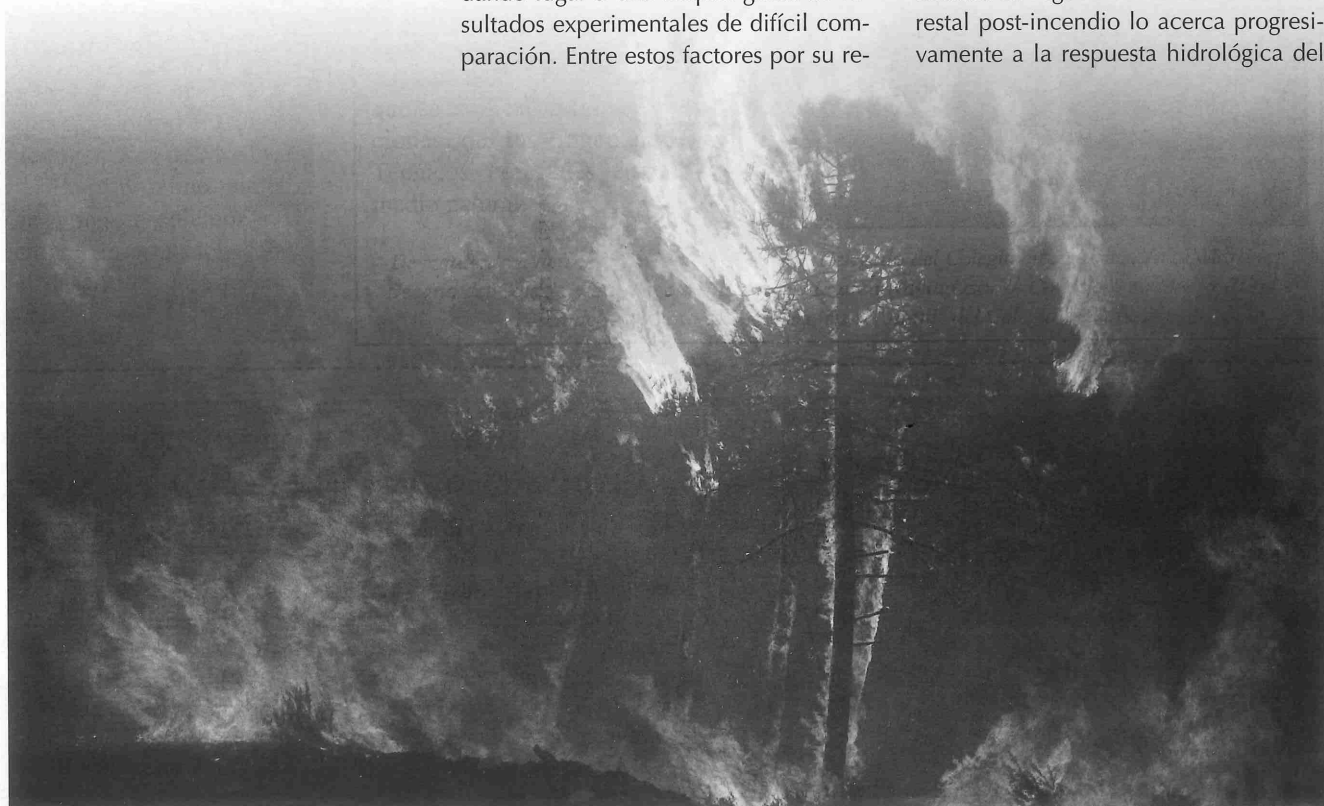
c) Régimen pluviométrico posterior al incendio: distribución estacional, eventos de alta intensidad.

d) Topografía. Fundamentalmente la pendiente, que influye en la generación y propagación de la escorrentía, así como también en la regeneración de la vegetación.

e) Extensión afectada dentro del área hidrológica analizada y situación respecto a la red de drenaje.

f) Características de la vegetación afectada.

g) Tiempo transcurrido desde el incendio. La regeneración del sistema forestal post-incendio lo acerca progresivamente a la respuesta hidrológica del



bosque no perturbado, de tal modo que la duración de los efectos se prolonga entre uno y cinco años después del incendio.

EFFECTOS SOBRE LA INTERCEPTACIÓN VEGETAL

La eliminación de la vegetación por causa del incendio supone, generalmente, una disminución de la interceptación y un incremento de la escorrentía superficial o subsuperficial. Sin embargo, es importante considerar qué estrato vegetal ha sido afectado (arbóreo, arbustivo, subarbustivo o rasante), lo que se encuentra en relación con el tipo de fuego producido (subterráneo, superficial o de copa).

Los fuegos de copa intensos provocan la combustión inmediata o la muerte y posterior caída del follaje, lo que comporta una inmediata disminución de la interceptación, con el consiguiente aumento de la fracción de la precipitación que alcanza el suelo. Por el contrario, la desaparición de las copas anula la transpiración y, al facilitar el aumento de la insolación y de la ventilación, se incrementan las pérdidas por evaporación. El efecto neto de estos dos fenómenos opuestos sería el de una disminución del contenido hídrico del suelo, dada la general preeminencia del aumento de evaporación.

Los fuegos intensos a nivel del suelo consumen la hojarasca y parte de la materia orgánica de los horizontes superiores del suelo y, por consiguiente, también se elimina la capacidad de retención del agua por la misma.

EFFECTOS SOBRE LA INFILTRACIÓN

Las consecuencias del fuego sobre la infiltración se encuentran en estrecha relación con los cambios en las propiedades físicas del suelo que éste puede inducir, especialmente en los horizontes orgánicos y en los primeros centímetros de suelo mineral. En efecto, el fuego altera el acople de las partículas minerales con la materia orgánica y, por lo tanto, puede modificar las propiedades que dependen de la agregación de partículas, como la mojabilidad del suelo y la infiltración. Las modificaciones producidas son función de la intensidad alcanzada por el fuego, de tal modo que por debajo de 200°C los efectos referidos anteriormente son inapreciables.

Por añadidura, la eliminación que lleva a cabo el fuego de la capa de hojarasca y de una parte de la materia orgánica del suelo permite que el impacto directo de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo mineral desplace partículas finas e incluso las cenizas de la combustión del material orgánico. Estas partículas desplazadas pueden obturar los poros de mayor diámetro, ocasionando una menor porosidad, y en muchas ocasiones una superficie encostrada, reduciendo todo ello la tasa de infiltración del suelo.

Otro fenómeno que puede actuar reduciendo muy intensamente la tasa de infiltración es **la formación de una capa hidrófoba**. Esta capa, repelente al agua, se forma en los primeros centímetros del suelo por la condensación

sobre las partículas minerales de compuestos orgánicos vaporizados en la combustión de materia orgánica. La influencia del fuego sobre la hidrofobia está estrechamente relacionada con la temperatura alcanzada en la combustión. De tal modo que los fuegos que superan el umbral de 500°C no generan capas repelentes al agua, dado que las sustancias hidrófobas resultan oxidadas. Los suelos más propensos a desarrollar una capa repelente al agua son aquellos con vegetación resinosa, suministradora de gran parte del material hidrófobo, y con texturas groseras (contenido en arcilla inferior al 5%) que favorecen la adhesión de las sustancias hidrófobas.

La hidrofobia inducida por el fuego es especialmente significativa en medios áridos y semiáridos, como han puesto de manifiesto diversos estudios en el chaparral californiano (De Bano et al, 1971) y en el fynbos de Sudáfrica (Scott, 1997). No obstante, en medios húmedos y subhúmedos también ha sido detectada.

EFFECTOS SOBRE LA ESCORRENTÍA

En el análisis de los efectos de los incendios forestales sobre la escorrentía conviene distinguir entre las modificaciones que inciden en el volumen de escorrentía y las que lo hacen sobre la morfología y caudal máximo de los hidrogramas de avenida.

En lo concerniente al volumen de escorrentía en la mayoría de los casos aumenta después de un incendio, co-

Incendio de Peramola (Lérida). Julio de 1983, se quemaron 2.500 ha aproximadamente.

J. Cantero

mo consecuencia de la disminución de la infiltración, interceptación y transpiración, y a pesar del aumento de la evaporación. La magnitud de la modificación en el volumen de escorrentía depende en cada caso de la combinación que resulte de los factores expuestos con anterioridad, por lo que los estudios experimentales reflejan un gran intervalo, que oscila entre el 25 y el 2000% de incremento. Una variable que influye de modo preponderante en el incremento del volumen de escorrentía registrado después de un incendio es la escala temporal. Los efectos son más evidentes en eventos aislados de alta intensidad que en períodos mensuales y en éstos más que en el balance estacional o anual, lo que explicaría en parte la amplia gama de incrementos registrados.

La conexión hidrológica de la área quemada respecto a la red de drenaje, aunque tiene mayores consecuencias sobre la forma del hidrograma de avenida, también puede afectar al volumen de escorrentía. Efectivamente, si el área quemada no vierte directamente a la red de drenaje de la cuenca, sino que el flujo superficial originado en la misma debe atravesar áreas no afectadas, éstas pueden infiltrar parte o la totalidad de la escorrentía generada. Por lo tanto, podría darse el caso de que aguas abajo de la zona quemada no se detectaran incrementos en el volumen de escorrentía.

Un concepto muy útil para distinguir los efectos que tiene el fuego sobre el volumen de escorrentía frente a los que ejerce sobre la morfología del hidrograma es el **hidrograma unitario**. El hidrograma unitario de una cuenca se define como el hidrograma de escorrentía superficial resultante de una lluvia neta de altura unitaria, repartida uniformemente sobre dicha cuenca y con una distribución constante a lo largo de un determinado intervalo de tiempo. Nótese que al definirse el hidrograma unitario con una lluvia neta unitaria, por ejemplo 1 mm, el volumen de escorrentía, o lo que es lo mismo el área del hidrograma unitario, siempre tendrá el mismo valor independientemente de los efectos del incendio.

Cuando la cuenca se encuentra afectada en toda o la mayor parte de su extensión, se aprecia en el hidrograma unitario un aumento del caudal máximo y una disminución del tiempo al pi-

co. Dicho de otro modo, la respuesta hidrológica de la cuenca se hace más súbita, los valores máximos se presentan antes, y violenta, aumenta el valor máximo (Sempere et al., 1996). El efecto descrito se debe a que las consecuencias del fuego sobre el suelo y la vegetación pueden hacer que deje de predominar en una cuenca forestal el flujo superficial por saturación y ocupe su lugar el "hortoniano", con el correspondiente aumento de la velocidad del flujo y, por ende, el menor tiempo de respuesta de la cuenca. Además, al haberse destruido en mayor o menor medida la vegetación, el flujo superficial "hortoniano" adquiere todavía mayor velocidad, dado que se atenúa la rugosidad de la superficie de escurrimiento.

Si el área incendiada no ocupase la mayoría de la cuenca, los efectos sobre la morfología de los hidrogramas pueden ser diversos e incluso contrapuestos. En función de la posición que la zona quemada tenga respecto a la red de drenaje, el caudal máximo puede aumentar, permanecer prácticamente igual e incluso reducirse. En síntesis, podría afirmarse que los incendios que han tenido una extensión parcial en la

cuenca provocarán aumentos en los caudales máximos de las avenidas si no se reduce sensiblemente el sincronismo de los picos de los hidrogramas de las diferentes subcuencas, independientemente de los aumentos producidos por la mayor escorrentía superficial que pueda generarse. El rango de variación del caudal pico que reflejan los diferentes estudios experimentales es, en consecuencia, todavía mayor que en volumen de escorrentía, estando limitado entre el 45 y casi el 6000% de incremento.

Como ilustración de lo expuesto en el párrafo anterior, Brown (1972) hace referencia a que un incendio en el área próxima a la parte inferior de una cuenca de estudio provocó la aparición de un nuevo pico en los hidrogramas, adelantado respecto al máximo, pero que prácticamente no hace aumentar el caudal máximo del hidrograma global. Incluso en algunas ocasiones, por ejemplo un incendio en cuencas de cabecera con pendientes mucho más fuertes que aguas abajo, puede reducirse el caudal máximo de la avenida global, como se representa en la **figura 1**.

ANTES DEL INCENDIO EN B

DESPUÉS DEL INCENDIO EN B

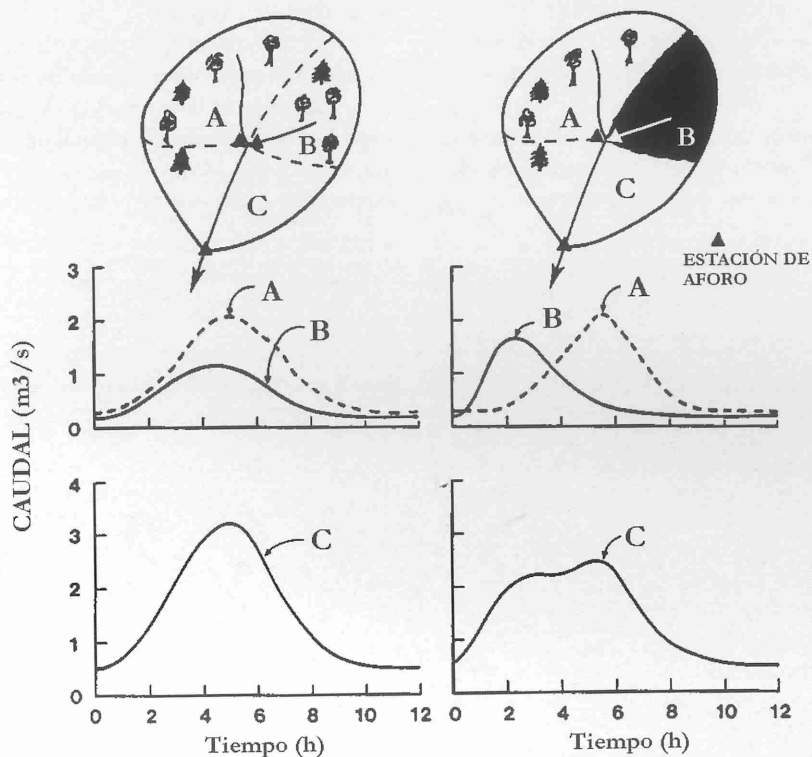


Figura 1. Representación de la disminución del caudal máximo después de un incendio, debido a la disminución del sincronismo de los picos.

MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE CUENCAS AFECTADAS POR INCENDIOS FORESTALES

Entre los diferentes ámbitos de actuación del ingeniero forestal, sin duda se encuentra la modelación de los efectos hidrológicos de los incendios forestales. Ya sea la simulación de las consecuencias de un incendio hipotético en los proyectos de actuaciones en cauces o en estudios de áreas inundables, ya sea para el análisis de los efectos de un incendio real sobre las áreas dominadas.

En los métodos hidrometeorológicos, la simulación de la generación de avenidas se aborda partiendo de datos de precipitación, generalmente tormentas sintéticas, que en una primera fase se transforman en un hietograma neto (calculando las pérdidas), y en una segunda dicho hietograma neto se convierte en el hidrograma que atraviesa el punto de concentración de la cuenca.

La modelación de la primera fase, la transformación de lluvia bruta en neta, puede abordarse por diferentes métodos, por ejemplo el Número de Curva del Soil Conservation Service o el Coeficiente de Escorrentía, que tienen en común la obtención de un parámetro que depende del complejo suelo-vegetación, de la pendiente del área y del contenido de humedad del suelo previo a la tormenta. Las modificaciones que ocasiona el fuego sobre dichas propiedades pueden contemplarse considerando que se ha producido un cambio de la cubierta vegetal, que será función del alcance real del fuego, pudiendo

*La adopción de medidas
inmediatamente
posteriores al incendio,
como puedan ser
las pequeñas hidrotécnicas
transversales en la red de
drenaje, las faginas o
empalizadas en laderas o
siembras urgentes, pueden
hacer que el tiempo de
concentración de
la cuenca no sólo
no disminuya, sino que
incluso aumente respecto
a las condiciones previas
al incendio.*

llegar en el caso más severo a considerar tierra desnuda. No hay que olvidar tampoco que el fuego puede alterar las propiedades físicas y químicas del suelo y que, por consiguiente, en algunos casos será necesario contemplar una menor permeabilidad del mismo.

En lo referente a la modelación de la transformación del hietograma neto en hidrograma de avenida, los modelos agregados, utilizados ampliamente en estudios hidrológicos, adolecen de importantes limitaciones para simular los efectos de los incendios forestales sobre la cuenca, aunque es posible introducir algunas modificaciones.

Por su amplia difusión nos centraremos en el método del hidrograma unitario, que como se ha visto anteriormente, tras un incendio presenta un caudal máximo mayor que se produce antes. Por ejemplo, en una cuenca del mediterráneo francés, un incendio forestal que afectó al 85% de su superficie, casi triplicó el caudal máximo del hidrograma unitario y redujo un 60% el tiempo al pico de dicho máximo (Sempere et al., 1996).

La primera medida que debemos adoptar en el caso de que el incendio no haya afectado a toda la cuenca es proceder a su división en subcuencas de tal modo que los efectos hidrológicos del fuego, especialmente los referentes a la morfología de hidrogramas (véase la figura 1), no sean enmascarados. Para ello es recomendable que la división en subcuencas, además de obedecer a los criterios geomorfológicos habituales, considere la situación de las áreas incendiadas, de tal modo que obtengamos una división contrastada entre áreas afectadas por el fuego y las que no, cuyos hidrogramas simulados serán conectados mediante modelos de propagación de hidrogramas en cauces.

Cuencas de contorno discontinuo



Los hidrogramas unitarios sintéticos, aquellos que no corresponden a una cuenca concreta sino que son modelos aplicables a cuencas no aforadas, requieren, en general, la determinación de un tiempo de respuesta de la cuenca. Uno de los efectos del incendio, como se ha visto, es acortar el tiempo de respuesta hidrológica, que se hace más súbita y violenta.

El tiempo de respuesta de la cuenca con el que comúnmente queda determinado el hidrograma unitario es el tiempo de retardo al pico, es decir, el tiempo que transcurre entre el centro de masas del hietograma neto y el pico del hidrograma. No obstante, dicho tiempo se suele calcular aplicando un coeficiente al tiempo de concentración, siendo este tiempo el requerido para que una partícula de agua recorra la distancia entre el punto más alejado hidráulicamente de la cuenca y el punto de desagüe.

Por consiguiente, con objeto de simular los efectos del incendio deberíamos reducir el tiempo de concentración de la cuenca. Ahora bien, el problema estriba en que dicho tiempo generalmente se calcula únicamente a partir de datos geomorfológicos que no se ven modificados por el incendio, como son la pendiente media y la longitud del cauce principal de la cuenca. Ejemplos de lo anterior son las fórmulas del tiempo de concentración de Témez o Kirpich. La no modificación del tiempo de respuesta nos podrá dejar del lado de la inseguridad al subestimar el caudal máximo.



Con objeto de reproducir en cierta medida la reducción del tiempo de concentración podemos calcular el tiempo de concentración mediante la suma de dos etapas. La primera correspondería al tiempo de recorrido del flujo superficial entre el punto más alejado de la divisoria y la entrada a la red de drenaje, denominado tiempo de viaje superficial. Tiempo que sí es afectado por el incendio, puesto que la acción de fuego sobre la vegetación modifica la rugosidad de la superficie de escurrimiento. El cálculo del tiempo de viaje superficial puede abordarse con métodos, fórmulas o nomogramas, que tienen en cuenta, aunque sea indirectamente, la rugosidad de la superficie, a través de parámetros como el coeficien-

te de Manning, el Número de Curva o el Coeficiente de Escorrentía. La reducción en el valor de estos parámetros, conforme con la nueva situación, arroja un valor inferior en el tiempo de viaje superficial. Por el contrario, la segunda fase del tiempo de concentración, la correspondiente al tiempo de circulación del flujo por la red de drenaje, tal y como se trata en las diferentes metodologías de cálculo no se vería alterada por la acción del fuego y, consiguientemente, no reflejaría ninguna disminución.

En cualquier caso debe tenerse presente que si se realizan actuaciones para la restauración del área quemada a corto plazo, los efectos hidrológicos del incendio puede verse muy mitigados, y por supuesto las consideraciones que se han realizado sobre la disminución de los tiempos de respuesta deben matizarse. En efecto, la adopción de medidas inmediatamente posteriores al incendio como puedan ser las pequeñas hidrotécnicas transversales en la red de drenaje, las faginas o empalizadas en laderas o siembras urgentes, pueden hacer que el tiempo de concentración de la cuenca no sólo no disminuya, sino que incluso aumente, respecto a las condiciones previas al incendio. ♦

BIBLIOGRAFÍA

- ALCAÑIZ, J.M.; SERRASOLSAS, I. y VALLEJO, R.: "Efectes del incendis forestals sobre el sòl", en TERRADAS (ed.) (1996): Ecologia del foc. Proa, Barcelona, pp. 111-130.
- AVILA, A.: "Efectes hidrològics del incendis", en TERRADAS (Ed.) (1996): Ecologia del foc. Proa Barcelona, pp. 131-140.
- DE BANO L.F.: (1971) "The effect of hydrophobic substances on water movement during infiltration", en Soil Science Society American Proc. 35, pp. 340-343.
- SEMPERE, D.; LAVABRE, J. y DOLZ, J. (1996): "El fuego y su impacto en la Hidrología de cuencas en el Mediterráneo", en Hidrología mediterránea. Los recursos hídricos en los países mediterráneos. Iberdola Instituto Tecnológico, pp.385-416.
- SCOTT, D.F. (1997): "The contrasting effects of wildfire and clearfelling on the hydrology of a small catchment", en Hydrological Processes. Vol 11, pp. 543-555.
- TIEDEMANN, A.R., *et al.* (1979): Effects of fire on water. A state-of-knowledge review. General Technical Report WO-10, USDA, Forest Service, Washington DC.

Cuencas de contorno discontinuo

